干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.05.17

近1 ka以来河西地区的沙漠化及对高强度人类活动的响应分析①

马 俊[1]， 牟雪松[1]， 王永达[1]， 刘文浩[3]， 范育新[1,2]
（1 兰州大学地质科学与矿产资源学院，甘肃省西部矿产资源重点实验室，甘肃 兰州 730000；
2 西部环境教育部重点实验室，甘肃 兰州 730000； 3 中国科学院兰州文献情报中心，甘肃 兰州 730000）

摘 要：河西地区地处青藏高原区与西北干旱区过渡带，是当下推进"一带一路"伟大战略建设的重要通道。同时，该地区也是我国沙漠化最严重地区之一。通过对已发表的河西地区风沙堆积事件与历史时期战争、人口数量、降水变化进行综合对比研究，分析了该地区近1 ka以来沙漠化的主导因素。结果显示：(1) 在最近1 ka以来，河西地区的沙漠化主要发生在0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka、0.32 ka、0.24 ka、0.18~0.12 ka和<0.1 ka时段。(2) 0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka和0.24 ka时段的沙漠化敏感地响应了高强度的战争活动，0.32 ka时段的沙漠化是对区域低降水量的响应。(3) 近200 a以来的沙漠化是对人口快速增长的响应。

关 键 词： 沙漠化成因；河西地区；丝绸之路经济带
中图分类号： P931.3 **文献标识码：**A **文章编号：**

沙漠化的成因一直是学术界研究的热点问题。在早期的研究中，历史地理学者多主张历史时期人类的不合理活动是半干旱地区沙漠化主要原因[1-6]，而第四纪地质学家学者则认为自然因素、尤其是近2 ka以来气候变化在沙漠化过程中发挥了主导作用[7-14]。随着研究的不断深入，特别是先进测年手段的发展和应用，学者们对沙漠化机制的认识取得了较大进展。如近年来有部分第四纪学者开始认识到人为因素在不同时段沙漠化成因中具有差异性[15-18]，也有研究认为3 ka以前，气候波动为沙漠化的主要因素，3 ka以来人类活动对沙漠化的影响在加强，并逐渐占据主导地位[19-26]。位于青藏高原区与西北干旱区过渡带的河西地区是古代丝绸之路的必经地段。河西地区曾在历史时期经历了严重的沙漠化，有研究显示，历史时期沙漠化过程使河西绿洲演变为沙漠的总面积达4 600 km^2[27]，占河西地区总面积的1.6%，严重地制约了当地经济、社会发展，甚至加速了古丝绸之路的衰亡。由于河西地区在历史时期不仅是东西方物质与文化交互的桥梁，还是农业民族与游牧民族矛盾交锋的场所，更是兵家必争之地，因而人类活动强度较大。然而，目前尚缺乏对历史时期这一生态敏感区的沙漠化过程对高强度人类活动响应的直接报道。此外，当下国家正在大力推进"一带一路"战略建设，河西地区作为"丝绸之路经济带"的黄金通道[28]，其战略意义十分明显。因而，清楚地掌握河西地区沙漠化的成因机制将对制定沙漠化防治策略、保障"一带一路"生态安全具有重大意义。

本文试图在前人研究的基础上梳理近1 ka以来河西地区高强度的人类活动，特别是战争与沙漠化时间之间的耦合关系，以期为"一带一路"生态建设提供基础资料。

1 研究区概况

河西地区地处青藏东北缘与黄土高原之间近东西向的走廊，东西狭长，约800 km，南北宽约40~100 km不等，总面积为2.72×10^5 km^2。现今的河西走廊北部被腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠所覆盖（图1）。河西地区地处亚欧大陆腹地，属于温带半

① **收稿日期：**2018-02-22； **修订日期：**2018-06-07
基金项目：国家自然科学基金项目(41772169)；中国科学院战略性先导科技专项(XDA2009000001)资助
作者简介：马俊(1992-)，男，东乡族，甘肃临夏人，硕士研究生，主要从事沙漠化与人类活动关系研究. E-mail：maj15@lzu.edu.cn
通讯作者：范育新(1975-)，男，汉族，陕西长武人，教授，博士生导师，主要从事干旱区沙漠—湖泊演化以及光释光年代学方面的科学研究与教学工作. E-mail：yxfan@lzu.edu.cn

荒漠和荒漠气候,年降水量 50～200 mm,年蒸发量大于 2 000 mm[29]。

2 近 1 ka 以来河西地区沙漠化的时段

河西地区的沙漠处于石羊河、疏勒河、黑河流域下游地带,巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠交汇处,是干旱区土地沙漠化的典型地区之一[30]。综合运用地理学、考古学、历史学、生态学等多学科的研究显示,历史时期河西地区绿洲演变为沙漠的总面积达到了 4 600 km^2[27]。古风成沙及风成沉积物是地质时期沙漠形成与演化的直接或间接的标志[31],而沙漠外缘地带的风成沉积记录着能够指示沙漠演化的信息[32],尤其是具有代表性的古土壤与古风沙互层的剖面,更是研究沙漠化过程的理想材料。前人对位于腾格里南缘的古浪剖面中风沙堆积物的 OSL 年代学研究结果显示,腾格里沙漠在 0.68 ka、0.32 ka、0.09 ka 以来发生扩张[33]。对连接巴丹吉林沙漠、乌兰布和沙漠与巴丹吉林沙漠的沙带上多个剖面中风沙堆积物的OSL年代研究表明(表1),巴丹

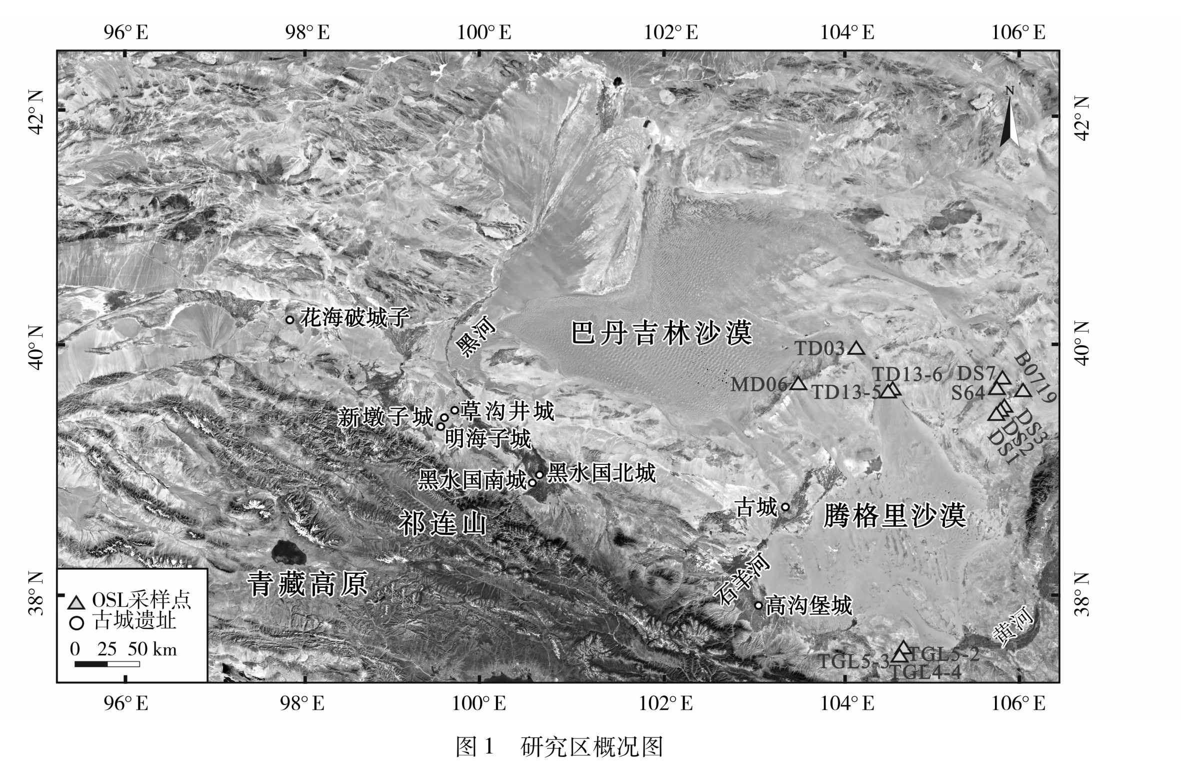


图 1 研究区概况图

Fig. 1 Geographical setting of the Hexi region

表 1 近 1 ka 以来河西地区沙丘堆积的时空信息汇总

Tab. 1 Spatial and temporal distribution of dune accumulation in the Hexi region during the latest 1 ka

样品编号	采样点坐标	年代	参考文献
B0719	39°42′07″N,105°44′03″E	<0.1 ka	[23]
S64	39°43′56.9″N,105°33′19.5″E	<0.1 ka	
DS1	39°32′36.3″N,105°28′46.2″E	<0.1 ka	
DS2	39°34′12.9″N,105°31′45.6″E	<0.1 ka	
DS3	39°36′12.5″N,105°35′07.5″E	<0.1 ka	
DS7	39°44′11.3″N,105°34′21.9″E	<0.1 ka	
TD03	40°02′56.25″N,103°53′46.11″E	0.12±0.03 ka	[24]
MD06	39°39′22.94″N,103°09′32.31″E	0.18±0.01 ka	
TD13-5	39°13′37.37″N,104°35′06.55″E	0.91±0.06 ka	
TD13-6	39°19′59.98″N,104°47′19.09″E	<0.1 ka	
TGL-4-4	37°25′58.8″N,104°17′56.40″E	0.09±0.01 ka	
TGL-5-2	37°25′58.8″N,104°18′0″E	0.68±0.05 ka	[33]
TGL-5-3	37°25′58.8″N,104°18′0″E	0.32±0.02 ka	

吉林沙漠在 0.91 ±0.06 ka、0.18 ±0.01 ka、0.12 ±0.03 ka 和 <0.1 ka 时间段扩张[23-24]。

考古学家对河西地区古城遗址进行了^{14}C 测年,结果如表 2 所示。由于测年材料大多为当时修筑古城所用的草绳、木头、骨头等物品[19,35,42-43],因此,测年结果指示了古城处于使用状态之前的时间点,即这些古城遗址的测年结果可以作为古城周边发生沙漠化的年代上限。而历史文献中记录了这些古城最终废弃的时代,因此沙漠化的年代大致在^{14}C 测年结果和历史文献记录的废弃时代所限制的时间

表 2 根据古城遗址测年结果推断的沙漠化时间

Tab. 2 Sand dune accumulation events during the latest 1 ka in the Hexi region

编号	古城	遗址^{14}C 测年结果 / a BP[42]	校正后^{14}C 年龄 / cal ka BP	废弃时代 / ka[42]	推测的沙漠化年代 / ka
1	黑水国北城	780 ±50	0.724 ±0.067	0.74 ~0.6(明代前期)	0.72 ~0.60
2	草沟井城	613 ±50	0.644 ±0.064	0.39 ~0.09(清代)	0.39 ~0.09
3	高沟堡城	195 ±50	0.180 ±0.038	0.15 ~0.09(清代中后期)	0.15 ~0.09
4	黑水国南城	190 ±50	0.177 ±0.056	0.3 ~0.15(清代中期)	0.17 ~0.15
5	明海子城	484 ±50	0.509 ±0.054	0.39 ~0.09(清代)	0.39 ~0.09
6	新墩子城	260 ±50	0.180 ±0.035	0.39 ~0.09(清代)	0.18 ~0.09
7	古城	860 ±50	0.875 ±0.034	0.74 ~0.39(明代前期)	0.87 ~0.60
8	花海破城子	473 ±50	0.497 ±0.063	0.74 ~0.39(明代)	0.49 ~0.39

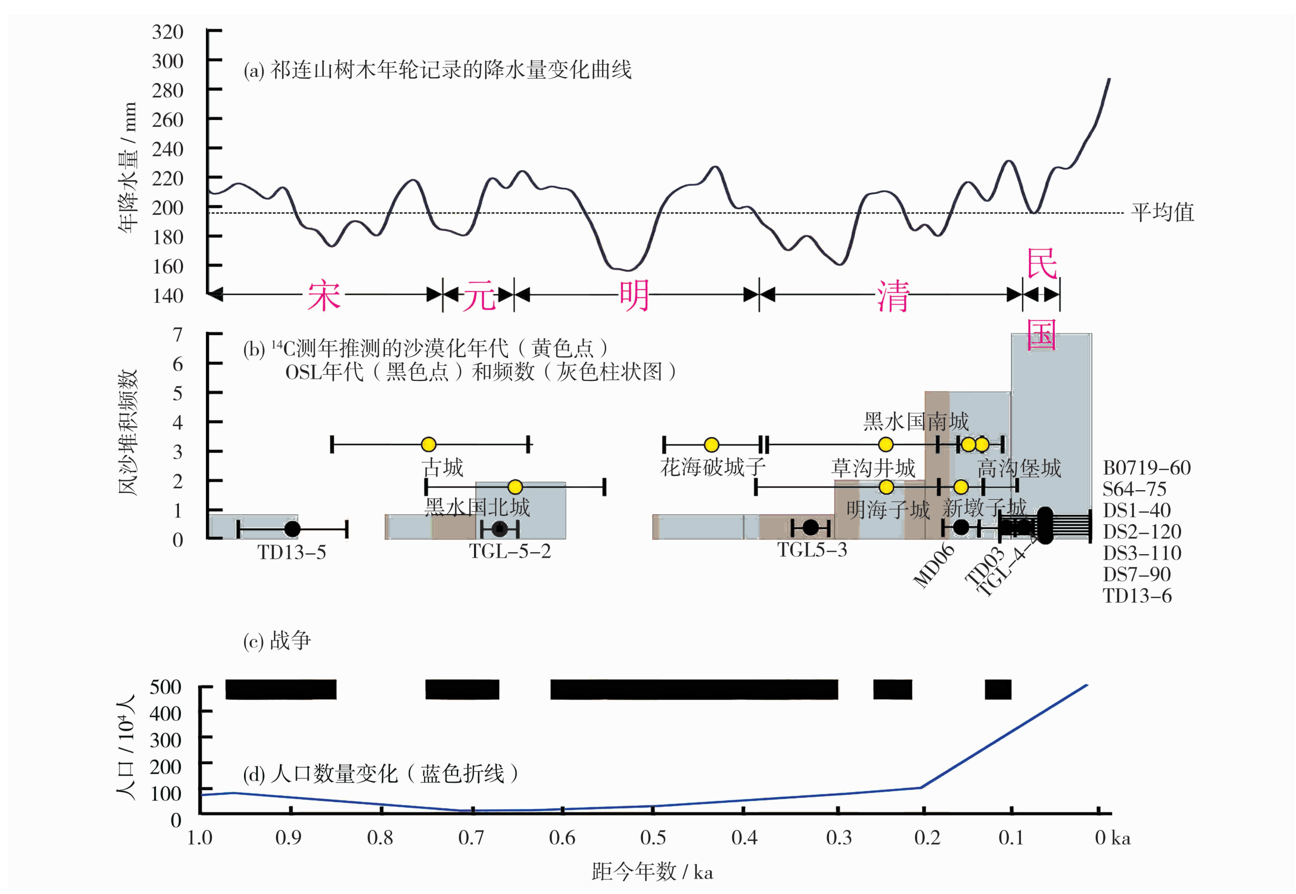


图 2 (a)根据祁连山树木年轮研究重建的近 1 ka 以来降水量,据文献[54];(b)根据古城遗址^{14}C 测年结果及风沙沉积物 OSL 测年结果推断的沙漠化年代。其中风沙堆积年代据文献[23-24,33,42];(c)河西地区战争较频繁的时段,据文献[49];(d)1 ka 以来河西地区人口数量变化,据文献[21,38-41]。浅黄色表示降水量低于平均值的时期,灰色柱状代表沙丘活化频数

Fig. 2 (a) Precipitation in Hexi region during the latest 1 ka[54]; (b) Ages associated with desertification in the Hexi region which are inferred from ^{14}C dating results of ancient city and OSL dates from sand dunes[23-24,33,42]; (c) Temporal distribution of warfare in the Hexi region during the latest 1 ka[49]; (d) Variation of population in the Hexi region during the recent 1 ka[21,38-41]. Light yellow bars indicate years with low precipitation, and gray columns represent years of desertification

之间。为了便于与历史文献中记录的人类活动事件的年代进行对比,本文对^{14}C测年结果采用 Calib 6.1[66]进行了校正,其结果见表 2。

综合前人在沙丘沉积物中获得的 OSL 测年结果以及本文根据古城遗址推断的沙漠化年代(图 2b),可见河西地区在 0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka、0.32、0.24 ka、0.18 ~ 0.12 ka 和 <0.1 ka 时段发生了较大空间范围的沙漠化。

3 河西地区人类活动强度变化

3.1 人口数量

人口数量的变化是河西地区人类活动强度最直接的一项指标。据《汉书・地理志》记载,在汉武帝以前,河西地区生活着主要从事畜牧生产和小规模农业生产的月氏、乌孙以及后来的匈奴等少数民族,人口数量还很小;由于西汉统治者屯田戍边政策的大规模实施,河西地区的人口数量快速增长,至 2.0 ka(西汉元始二年)河西总人口已经达到了 28×10^4 余人,奠定了河西地区成为中国重要的粮食基地的地位。之后,历代中央政权对河西地区的开发都十分重视,1.76 ~ 1.4 ka(魏晋)、1.39 ~ 1.08 ka(唐代)、0.66 ~ 0.09 ka(明清)时段在河西地区都进行过不同规模屯田和屯兵[34]。这些措施曾一度对河西地区的农业发展和丝绸之路的稳定做出了巨大的贡献[35-37]。对河西地区人口数量[38-41]的变化分析发现,自 1 ka 以来,河西地区的人口数量持续减少,直到 0.66 ka(明代初期)才开始呈现增长的趋势,并在 0.21 ka(清代中后期)人口数量显著增长(表 2)。

3.2 战争频度

在诸多人类活动中,战争无疑是短时间内对周边环境破坏最严重的方式之一。自汉武帝时期设置河西四郡以来,河西地区一直承担着"隔绝羌胡"的战略任务。清初地理学家顾祖禹在《读史方舆纪要》中提到"昔人言,欲保秦陇,必固河西,欲固河西,必斥西域"。可见河西地区一直被视作内陆的西北门户,而且是东西方文明沟通互联的国际窗口和中原王朝北控漠北、西图西域、南连青藏的战略基地,具有重要的交通、军事的战略地位。正因如此,也使得河西地区成为兵家必争之地,在历史时期经历了多次政权更替、游牧民族与农业民族之间或是军阀之间的战争事件。《河西通史》中记载:河西地区既是汉军出征西、北的前沿据点,又是物资供应的后方基地;既是中原王朝重点经营之地,又是饱受战争之区;不仅受到发生在河西本地战争的直接破坏,也受到整个西北战事的间接影响[64]。

表 3 河西地区近 1 ka 以来人口变化

Tab. 3 Variation of population during the latest 1 ka in the Hexi region

时期	地质年代 / ka	人口数量 / 10^4 人	数据来源
宋代前期	0.97	80	文献[38]
明代初期	0.66	12	文献[39]
明代中期	0.5	30	文献[39]
清代中后期	0.2	127	文献[40]
公元 2010 年	0.007	532	文献[41]

《中国军事史・中国历代战争年表》[49]一书中对河西地区战争情况进行了较为全面的记录。由于在《年表》中可能会对死伤人数、参战者数量和战争原因的描述存在偏差,因此,本文在《河西通史》[64]、《甘肃通志》[65]中对河西地区近 1 ka 以来规模较大、影响范围较广、动员程度高、持续时间长的战争活动的基础上,综合整理了近 1 ka 以来发生在河西地区战争频率、时间和空间分布,如表 4 所示。其中中国历史时期朝代更替的年代以《中国通史》[50]为准。

通过对比我们可以发现战争的发生年代与风沙堆积事件时段之间的一致性,但尚难呈现特定地区战争发生与沙漠扩张的空间关联性。因此,本文试图通过 GIS 技术,表达研究区不同时段战争的发生地点及对周边地区的可能影响强度,从而为分析该区战争与沙漠扩张在空间与时间的关联性提供依据。本文在 ArcGIS 软件环境下,对战争分布进行了插值分析。首先,对历史文献记录的战争事件按不同时段进行归类,然后在 ArcCatalog 中储存获得战争事件的发生地、战争频数、战争累积时间和经纬度坐标等属性信息,建立战争数据库。以战争发生的累积时间作为战争的影响强度,在 ArcMap 环境下对获得的战争频数数据进行空间插值,生成战争强度分布模型。空间插值是场态离散数据处理常用的方法之一,通过离散的已知数据或分区数据推求出任意点或分区数据,可以生成或补充原始数据的不足,使原始离散分布的数据转换成规则的格网数据[51-52]。插值方法选用反距离权重法(IDW),可以通过搜索用户自定义半径范围内的所有节点来计算栅格数据,因此能够有效地预测本地的变化趋势[53],适用于战争强度分布的变化模拟。最后将插

表 4　近 1 ka 以来河西地区战争活动的时空分布[49,64-65]

Tab. 4　Spatial and temporal distribution of warfare happened in the Hexi region during the latest 1 ka[49,64-65]

发生地	频数 / 次	累计时间 / a	时段 / ka	发生地	频数 / 次	累计时间 / a	时段 / ka
额济纳(黑水城)	2	4	1.0～0.66	额济纳东南	2	3	0.66～0.09
黑城	2	2	1.0～0.66	高台	1	1	0.66～0.09
靖远	2	4	1.0～0.66	嘉峪关	1	1	0.66～0.09
酒泉	4	8	1.0～0.66	酒泉	9	18	0.66～0.09
居延东	2	4	1.0～0.66	乐都	1	1	0.66～0.09
乐都	6	8	1.0～0.66	灵武	2	2	0.66～0.09
门源	2	4	1.0～0.66	民勤	2	4	0.66～0.09
武威	18	24	1.0～0.66	平罗	1	2	0.66～0.09
永登	6	10	1.0～0.66	青铜峡	1	1	0.66～0.09
张掖	8	14	1.0～0.66	山丹	3	5	0.66～0.09
同心	2	2	0.66～0.09	永登	5	5	0.66～0.09
武威	12	14	0.66～0.09	玉门北	1	2	0.66～0.09
永昌	2	2	0.66～0.09	张掖	8	11	0.66～0.09
安西	2	3	0.66－0.09	中卫	1	2	0.66～0.09
敦煌	2	3	0.66－0.09				

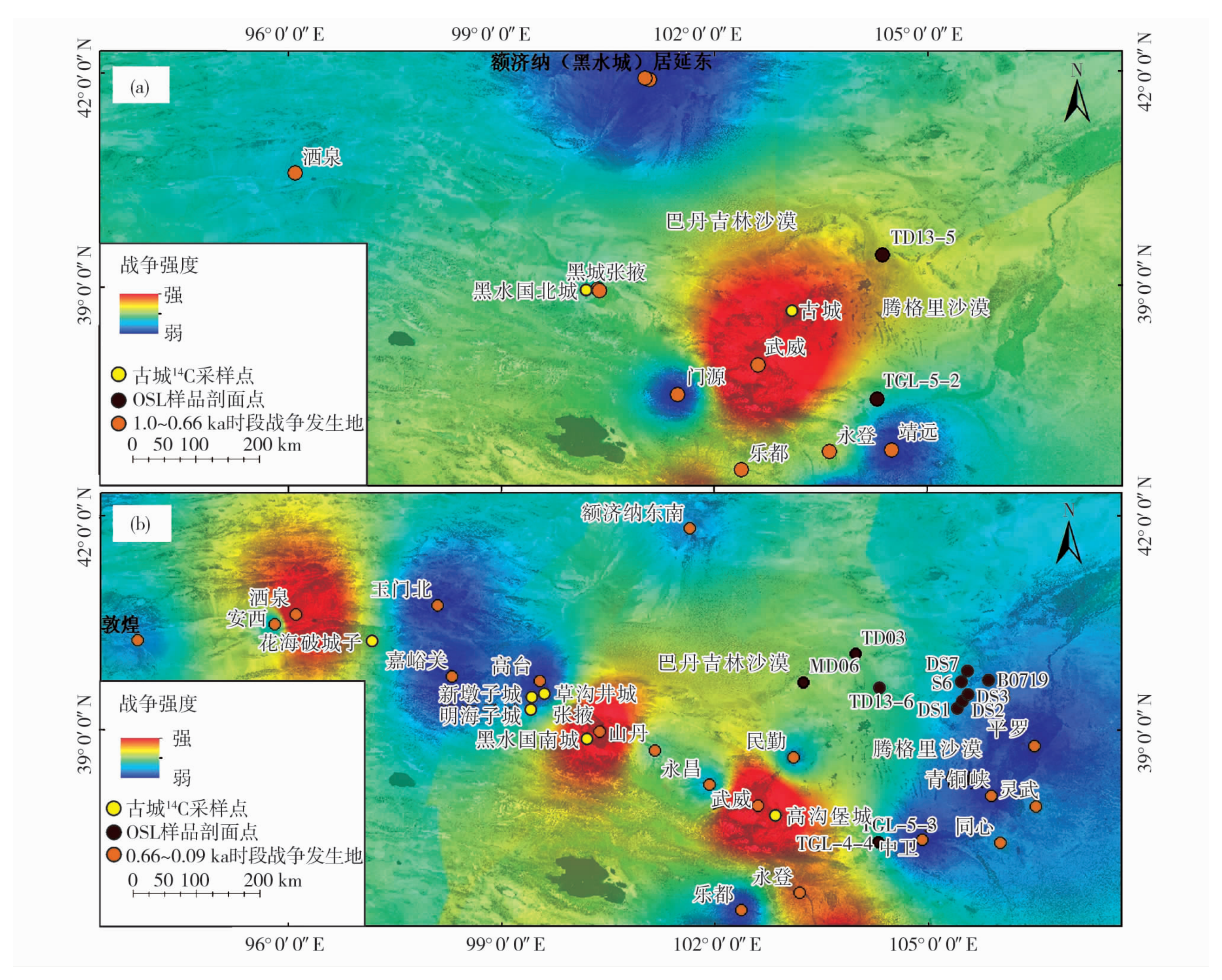


图 3　1.0～0.66 ka(宋元时期 a)及 0.66～0.09 ka(明清时期 b)时段河西地区战争强度及影响范围模拟

Fig. 3　Illustration for area of the warfare in Hexi area during the 1.0～0.66 ka and the 0.66～0.09 ka

值结果进行栅格化,从而获得战争影响强度在研究区内的展布情况以及对周边地区的影响范围模拟图。本研究对近 1.0 ka 以来河西地区发生的战争对周边地区的影响范围和强度变化进行了插值分析,结果如图 3 所示。

由图 3a 可知,在 1 ~ 0.66 ka 时段(宋元时期)河西地区的战争核心地区为武威,共发生战争 18 次,累积时间共计长达 24 a;而酒泉发生战争 4 次,累计时间 8 a。累积时间为每次战争所持续的时间相叠加后的时间。累积时间越高,代表此地战争持续的时间越长,也可以指示战争强度。因此,就所受到的战争强度影响而言,武威及周边地区要比酒泉及周围地区更高(图中颜色呈红色),且范围更大。图 3b 为 0.66 ~ 0.09 ka(明清)的战争强度影响范围模拟图,酒泉、张掖和武威地区战争发生次数达到 10 次以上,其影响范围也明显较广。

4 近 1 ka 以来河西地区沙漠化的影响因素分析

为了综合分析近 1 ka 以来河西地区沙漠化的成因,本文将历史时期河西地区人口变化、战争强度、降水变化以及沙漠化的时段进行了耦合分析,如图 2 所示。

本文在综合前人研究结果的基础上,发现河西及毗邻地区近 1 ka 以来沙漠化主要发生在 0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka、0.32 ka、0.24 ka、0.18 ~ 0.12 ka 和 <0.1 ka 时段。根据祁连山北部树木年轮重建的降水量变化结果[53](图 2a)表明,0.32 ka 时期降水量较少,气候干旱,有利于沙漠扩张。然而 0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka 0.24 ka、0.18 ka、0.12 ka 和 <0.1 ka 时期降水量高于或临近 1 ka 以来降水量平均值,指示气候相对湿润,无法为沙漠扩张提供有利条件(图 2a)。可见,除 0.32 ka前后的沙漠化之外,其余时段沙漠化的主要原因很可能是人类活动诱发。

通过对沙漠化(图 2b)与战争(图 2c)发生的时段,可见 0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka、0.32 ka 时段的沙漠扩张与战争发生的时段是吻合的,历史文献统计结果(表 4)显示,近 1 ka 以来河西地区发生战争 73 场,累计时间 204 a。其中 34 场、累计 106 a的战争发生在 1.0 ~ 0.66 ka(宋元)时期;39 场、累计 98 a 的战争发生在 0.66 ~ 0.09 ka(明清)时期。此外,战争发生的地点也比较集中,主要集中在该区域的黑河、石羊河及疏勒河(后文称"三大流域")的下游地区(图 3):石羊河流域主要发生战争的地点在武威、民勤、永昌,共计 16 次;疏勒河流域战争主要发生在敦煌、酒泉、安西(瓜州)、玉门、嘉峪关,共计 14 场战争;黑河流域战争主要发生在高台、张掖、山丹,共计 12 次(表 4)。对该区域战争的分布区的统计结果(图 3)显示,武威、中卫和民勤地区是近 1 ka 以来战争强度较高的地区,特别是武威是战争核心地区,近 1 ka 以来的共发生战争 30 次,累计时间达到 38 a。

河西地区近 1 ka 以来,沙漠化也主要发生在"三大流域"的下游地区,特别在 0.66 ka(明清),三大流域沙漠化面积发生大规模扩张,石羊河流域发生沙漠化面积达 1 424 km^2,黑河流域达 6 105 km^2,疏勒河流域 2 190 km^2,共计 9 719 km^2[41]。此外,根据废弃的古城推测的沙漠化年代也与战争发生的时代相一致,且这些废弃的古城均集中三大流域下游地区,与战争发生地以及前人研究的沙漠化发生地相一致。而前人对历史时期战争与环境关系的研究指出,战争会引起植被覆盖量、农田面积、古城数量的大量减少,从而导致该地生态环境的严重恶化[55-63]。河西地区由于常年战争,政治不稳定,百姓流离失所,四处迁移。大规模的人口流动导致地无人耕种,长年累月,这些地区便就地起沙。此外,冷兵器时代由于对武器的数量需求较高,而当时的兵器大多为木质和铁质,再加上制造工艺的落后,长期的战争势必会造成林业资源和矿产资源的消耗增加、地表植被破坏加重,这些很可能都是引起该时段沙漠化的直接原因。河西地区人口统计结果(表 3)显示,河西地区在 0.2 ka 时只有 100 × 10^4 人,之后快速增长(图 2d),现已突破 500 × 10^4 人。人口快速增长的时期与近 0.2 ka 以来沙漠化的快速发展时间也较一致。综上,河西地区在 0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka、0.32 ka、0.24 ka 时期的沙漠扩张受到了高强度战争的影响,0.2 ka 以来的沙漠化快速发展收到区域人口快速增长的影响,而 0.32 ka 前后的沙漠扩张很可能是对区域气候干旱的响应。

5 结 论

通过本文的分析,发现处在"一带一路"要道上的河西地区的生态环境对人类活动的响应非常敏

感。该地区在过去 1 ka 以来,沙漠化呈现分段式发生,主要发生于 0.91 ka、0.74 ka、0.68 ka、0.44 ka、0.32、0.24 ka、0.18 ~ 0.12 ka 和 < 0.1 ka 时段;其中仅在 0.32 ka 时段前后区域降水量较低,而其他时段区域的降水量都比较充足。在分析区域高强度人类活动与沙漠化历史的基础上,本文认为近 1 ka 以来河西地区的沙漠化主要是对战争等高强度人类活动的响应。

参考文献(References)

[1] 朱士光,唐亦功. 西北地区丝路沿线自然地理环境变迁初步研究[J]. 西北大学学报自然科学版,1999,29(6):615 - 619. [ZHU Shiguang,TANG Yigong. A study on the environmental evolution of physical geography in the northwest region along "the Road of Silk" in China[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition),1999,29(6):615 -619.]

[2] 马正林. 人类活动与中国沙漠地区的扩大[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),1984,(3):39 - 48. [MA Zhenglin. The expansion of human activities and China Desert Area[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition),1984,(3):39 -48.]

[3] 陈育宁. 鄂尔多斯地区沙漠化的形成和发展述论[J]. 中国社会科学,1986,(2):69 - 82. [CHEN Yuning. The formation and development of desertification in Ordos region[J]. Social Sciences in China,1986,(2):69 -82.]

[4] 冯季昌,姜杰. 论科尔沁沙地的历史变迁[J]. 中国历史地理论丛,1996,(4):105 -120. [FENG Jichang,JIANG Jie. On the historical changes of Horqin Sandy Land[J]. Collections of Essays on Chinese Historical Geography,1996,(4):105 -120.]

[5] 张柏忠. 北魏至金代科尔沁沙地的变迁[J]. 中国沙漠,1991,11(1):36 -43. [ZHANG Baizhong. Vicissitudes of Korqin Sandy Land from northern Wei to Jing Dynasties[J]. Journal of Desert Research,1991,11(1):36 -43.]

[6] 朱震达,刘恕,高前兆,等. 内蒙西部古居延—黑城地区历史时期环境的变化与沙漠化过程[J]. 中国沙漠,1981,3(2):1 -8. [ZHU Zhengda,LIU Shu,GAO Qianzhao,et al. The environmental changes and desertification processes in historical period in the areas of ancient Juyan—Heicheng region in western Inner Mongolia[J]. Journal of Desert Research,1981,3(2):1 -8.]

[7] 董光荣,申建友,金炯,等. 气候变化与沙漠化关系的研究[J]. 干旱区资源与环境,1988,2(1):33 - 47. [DONG Guangrong, SHEN Jianyou,JIN Jiong,et al. On the relationship between desertification and climatic changes[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment,1988,2(1):33 -47.]

[8] 李保生,董光荣,高尚玉,等. 陕西北部榆林第四纪地层剖面的粒度分析与讨论[J]. 地理学报,1988,43(2):127 - 133. [LI Baosheng, DONG Guangrong, GAO Shangyu, et al. Analysis and discussion on the grain size of the Quaternary strata prefile in Yulin aera of the northern Shaanxi[J]. Acta Geographica Sinica,1988, 43(2):127 -133.]

[9] 吴正,董光荣,李保生,等. 从晚更新世以来我国沙漠的变迁看干旱区沙漠化问题[J]. 华南师范大学学报自然科学版,1987,(2):75 -80. [WU Zheng,DONG Guangrong,LI Baosheng,et al. On sandy desertification in arid regions of east China[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science),1987,(2):75 -80.]

[10] 高尚玉,董光荣,李保生,等. 萨拉乌苏河地区地层中 $CaCO_3$ 和易溶盐含量变化与气候环境[J]. 干旱区资源与环境,1988,2(4):43 -50. [GAO Shangyu,DONG Guangrong,LI Baosheng,et al. The content changes of $CaCO_3$ and soluble salt in the strata and the clmatic environments in arid and semi-arid regions[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment,1988,2(4):43 -50.]

[11] 高尚玉,陈渭南,靳鹤龄,等. 全新世中国季风区西北缘沙漠演化初步研究[J]. 中国科学:化学生命科学地学,1993,23(2):202 -208. [GAO Shangyu,CHEN Weinan,JIN Heling,et al. Preliminary study on Holocene sand desert evolution in the northwestern fringe of China's monsoon region[J]. Science in China,Ser. B,1993,23(2):202 -208.]

[12] 陈渭南,高尚玉. 毛乌素沙地全新世地层化学元素特点及其古气候意义[J]. 中国沙漠,1994,14(1):22 -30. [CHEN Weinan,GAO Shangyu. On the Holocene geochemical landcape characteristics and its paleoclimaic meaning Mu Us Sand Land[J]. Journal of Desert Research,1994,14(1):22 -30.]

[13] 韩秀珍. 历史时期鄂尔多斯沙化的气候因素作用分析[J]. 干旱区资源与环境,1999,(S1):99 - 103. [HAN Xiuzhen. The function analysis of climate factors of Ordos sand movement in historical stage[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment,1999,(S1):99 -103.]

[14] 孙业凤,温小浩,李保生,等. 腾格里沙漠南缘土门剖面末次间冰期 5e 的主量元素特征及其记录的古气候[J]. 干旱区地理,2015,38(6):1151 - 1160. [SUN Yefeng, WEN Xiaohao, LI Baosheng,et al. Climate variability recorded by the major elements in the TMS5e of the Tumen section during the MIS5e in the southern Tengger Desert, northwest China[J]. Arid Land Geography,2015,38(6):1151 -1160.]

[15] 孙继敏,丁仲礼,刘东生,等. 末次间冰期以来沙漠—黄土边界带的环境演变[J]. 第四纪研究,1995,15(2):117 -122. [SUN Jimin,DING Zhongli. LIU Dongsheng,et al. Environmental changes in the deset-loess transitional zone of north China since beginning of the Last Interglacial[J]. Quaternary Sciences,1995,15(2): 117 -122.]

[16] 董光荣,靳鹤龄. 中国北方半干旱和半湿润地区沙漠化的成因[J]. 第四纪研究,1998,18(2):136 -144. [DONG Guangrong, JIN Heling. Geneses of desertification in semiarid and subhumid region of northern China[J]. Quaternary Sciences,1998,18(2): 136 -144.]

[17] 靳鹤龄,董光荣,苏志珠,等. 全新世沙漠—黄土边界带空间格局的重建[J]. 科学通报,2001,46(7):538 -543. [JIN Heling, DONG Guangrong,ZHU Zhizhu,et al. The reconstruction of spatial pattern of Holocene desert-loess boundary zone[J]. Chinese Science Bulletin,2001,46(7):538 -543.]

[18] 杨林海,周杰. 历史时期气候变化和人类活动对毛乌素地区沙漠化的影响[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(12):128 -133. [YANG Linhai,ZHOU Jie. The impact of historical climate change and human activities on the sandy desertification of Mu Us region

[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2008, 22(12): 128 – 133.]

[19] 王乃昂,赵强,胡刚,等. 近2ka 河西走廊及毗邻地区沙漠化过程的气候与人文背景[J]. 中国沙漠,2003,23(1):95 – 100. [WANG Naiang, ZHAO Qiang, HU Gang, et al. Climatic and humanistic background of desertification process in the recent 2000 years in Hexi Corridor, China [J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(1): 95 – 100.]

[20] 范育新,陈晓龙,范天来,等. 库布齐现代沙漠景观发育的沉积学及光释光年代学证据[J]. 中国科学:地球科学,2013,43(10):1691 – 1698. [FAN Yuxin, CHEN Xiaolong, FAN Tianlai, et al. Kubuqi modern desert landscape development of the sedimentology and optical luminescence chronological evidence[J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 43(10): 1691 – 1698.]

[21] FAN Y X, CHEN X L, LIU W H, et al. Formation of present desert landscape surrounding Jilantai Salt Lake in northern China based on OSL dating[J]. Frontiers of Earth Science, 2015, 9(3): 497 – 508.

[22] FAN Y X, ZHANG F, LIU W H, et al. History and mechanisms for the expansion of the Badain Jaran Desert, northern China, since 20 ka: Geological and luminescence chronological evidence[J]. The Holocene, 2016, 26(4): 532 – 548.

[23] YANG L H, WANG T, ZHOU J, et al. OSL chronology and possible forcing mechanisms of dune evolution in the Horqin dunefield in northern China since the Last Glacial Maximum[J]. Quaternary Research, 2012, 78(2): 185 – 196.

[24] YANG L H, ZHOU J, LAI Z P, et al. Lateglacial and Holocene dune evolution in the Horqin dunefield of northeastern China based on luminescence dating[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2010, 296(1): 44 – 51.

[25] 丁文广,陈利珍,李丹璐,等. 1975—2014 年晋西北地区沙漠化动态变化趋势研究[J]. 干旱区地理,2016,39(5):994 – 1003. [DING Wenguang, CHEN Lizhen, LI Danlu, et al. Dynamic change trend of desertification in northwest Shanxi Province during 1975—2014[J]. Arid Land Geography, 2016, 39(5): 994 – 1003.]

[26] 王新军,赵成义,杨瑞红,等. 古尔班通古特沙漠南缘荒漠化过程演变的景观格局特征分析[J]. 干旱区地理,2015,38(6):1213 – 1225. [WANG Xinjun, ZHAO Chengyi, YANG Ruihong, et al. Landscape pattern characteristics of desertification evolution in southern Gurbantunggut Desert[J]. Arid Land Geography, 2015, 38(6): 1213 – 1225.]

[27] 李并成. 河西走廊历史时期沙漠化研究[M]. 北京:科学出版社,2003:150 – 158. [LI Bingcheng. Study on desertification in the Hexi Corridor[M]. Beijing: Science Press, 2003: 150 – 158.]

[28] 沙武田. 丝绸之路黄金段河西走廊的历史地位——兼谈河西走廊在华夏文明传承创新区建设中的定位和宣传侧重[J]. 丝绸之路,2014,(12):16 – 19. [SHA Wutian. The historical position of the Hexi Corridor in the Yellow River section of the Silk Road ——also on the orientation and propaganda of the Hexi Corridor in the construction of the Chinese Civilization Inheritance and Innovation Zone[J]. The Silk Road, 2014, (12): 16 – 19.]

[29] 韩兰英,万信,方峰,等. 甘肃河西地区沙漠化遥感监测评估[J]. 干旱区地理,2013,36(1):131 – 138. [HAN Lanying, WAN Xin, FANG Feng, et al. Desertification assessments of Hexi regions in Gansu Province by remote sensing[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(1): 131 – 138.]

[30] 李并成. 沙漠历史地理学的几个理论问题——以我国河西走廊历史上的沙漠化研究为例[J]. 地理科学,1999,19(3):211 – 215. [LI Bingcheng. Several theortical problems on historical geography of desert[J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(3): 211 – 215.]

[31] 董光荣,李森,李保生,等. 中国沙漠形成演化的初步研究[J]. 中国沙漠,1991,11(4):23 – 32. [DONG Guangrong, LI Sen, LI Baosheng, et al. A preliminary study on the formation and evolution of deserts in China[J]. Journal of Desert Research, 1991, 11(4): 23 – 32.]

[32] 强明瑞,李森,金明,等. 60ka 来腾格里沙漠东南缘风成沉积与沙漠演化[J]. 中国沙漠,2000,20(3):256 – 259. [QIANG Mingrui, LI Sen, JIN Ming, et al. Aeolian deposits on the southeastern margin of Tengger Desert and desert evolution during the last 60000 years[J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(3): 256 – 259.]

[33] PENG J, DONG Z, HAN F. Optically stimulated luminescence dating of sandy deposits from Gulang County at the southern margin of the Tengger Desert, China [J]. Journal of Arid Land, 2016, 8(1): 1 – 12.

[34] 李并成. 唐代前期河西走廊的农业开发[J]. 中国农史,1990,(1):12 – 19. [LI Bingcheng. Agricultural development of Hexi Corridor in early Tang Dynasty[J]. Agricultural History of China, 1990, (1): 12 – 19.]

[35] 程弘毅,黄银洲,赵力强. 河西走廊历史时期的人类活动[EB/OL]. 北京:中国科技论文在线. [2011 – 04 – 22]. http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201104 – 553. [CHEN Hongyi, HUANG Yinzhou, ZHAO Liqiang. The human activity in Hixi Corridor during historical time[EB/OL]. Beijing: Scientific Papers Online. 2011 – 04 – 22.]

[36] 李并成. 民勤县近 300 余年来的人口增长与沙漠化过程——人口因素在沙漠化中的作用个案考察之一[J]. 西北人口,1990,(2):29 – 33. [LI Bingcheng. The population growth and desertification process in the past 300 years in Minqin County: One of the cases of the role of population factors in desertification[J]. Northwest Population Journal, 1990, (2): 29 – 33.]

[37] MISCHKE S, LIU C, ZHANG J, et al. The world's earliest Aral-Sea type disaster: The decline of the Loulan Kingdom in the Tarim Basin [J]. Scientific Reports, 2017, 7(43): 102.

[38] 姜清基. 西夏河西人口[J]. 新学术,2008,(2):279 – 281. [JIANG Qingji. Xixia Hexi population[J]. New Science, 2008, (2): 279 – 281.]

[39] 刘兴成. 河西走廊地区民族变迁与生态演变[D]. 西安:陕西师范大学,2008. [LIU Xingcheng. Ethnic changes and ecological evolution in Hexi Corridor[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2008.]

[40] 吴晓军. 河西走廊内陆河流域生态环境的历史变迁[J]. 兰州大学学报(社会科学版),2000,(4):46 – 49. [WU Xiaojun. Historical variance of the ecological environment in the inland river area along the Hexi Corridor[J]. Journal of Lanzhou University (Social Sciences), 2000, (4): 46 – 49.]

[41] 国务院人口普查办公室. 中国 2010 年人口普查资料[M]. 北

京:中国统计出版社,2012. [State Council Census Office. China 2010 census data[M]. Beijing:China Statistics Press,2012.]

[42] 程弘毅. 河西地区历史时期沙漠化研究[D]. 兰州:兰州大学,2007. [CHEN Hongyi. Study on desertification in Hexi region during historical period[D]. Lanzhou:Lanzhou University,2007.]

[43] 程弘毅,王乃昂,李育,等. 河西地区沙漠古城及其环境指示意义[C]//乌鲁木齐:历史地理国际学术研讨会,2004. [CHEN Hongyi,WANG Naiang,LI Yu,et al. Desert ancient city in Hexi region and its environmental significance[C]//Urumqi:International Symposium on Historical Geography,2004.]

[44] 李并成. 残存在民勤县西沙窝中的古代遗址[J]. 中国沙漠,1990,10(2):35 -42. [LI Bingcheng. Investigation on the ancient ruins in the western sandy land of Minqin County[J]. Journal of Desert Research,1990,10(2):35 -42.]

[45] 李并成. 甘肃境内遗存的古城址[J]. 文史知识,1997,(6):60 -64. [LI Bingcheng. Ancient city sites in Gansu Province[J]. Chinese Literature and History,1997,(6):60 -64.]

[46] 李并成. 甘肃省高台县骆驼城遗址新考[J]. 中国历史地理论丛,2006,21(1):108 - 112. [LI Bingcheng. A new research on the ruins of camel city in Gaotai County,Gansu Province[J]. Journal of Chinese Historical Geography,2006,21(1):108 -112.]

[47] 李并成. 百年来敦煌地理文献及历史地理的研究[J]. 敦煌学辑刊,2010,(2):46 -58. [LI Bingcheng. The study on the Dunhuang geographic literatures and historic geography in the last 100 years[J]. Journal of Dunhuang Studies,2010,(2):46 -58.]

[48] 李并成. 唐代会州故址及其相关问题考——兼谈对于古代城址考察研究的些许体会[J]. 中国历史地理论丛,2016,31(3):46 -53. [LI Bingcheng. A study on the site of Huizhou in the Tang Dynasty and other related problems[J]. Journal of Chinese Historical Geography,2016,31(3):46 -53.]

[49] 傅仲侠. 中国历代战争年表[M]. 北京:解放军出版社,2003. [FU Zhongxia. Chinese chronology of war[M]. Beijing:The People's Liberation Army Press,2003.]

[50] 范文澜. 中国通史. 第四册[M]. 北京:人民出版社,1996. [FAN Wenlan. History of China,Vol 4[M]. Beijing:People's Publishing House,1996.]

[51] 邬伦. 地理信息系统:原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社,2001. [WU Lun. Geographic information system:Principles,methods and applications[M]. Beijing:Science Press,2001.]

[52] 刘文浩,张凡,张复,等. 民勤盆地东北部晚第四纪深湖亚相地层空间分布及其环境意义[J]. 中国沙漠,2015,35(1):145 -151. [LIU Wenhao,ZHANG Fan,ZHANG Fu,et al. Spatial distribution of the Late Quaternary deep lake lacustrine sediments in the northeastern Minqin Basin,Gansu,China,and its environmental significance[J]. Journal of Desert Research,2015,35(1):145 -151.]

[53] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社,2012. [TANG Guoan,YANG Xin. ArcGIS spatial analysis experiment tutorial of GIS[M]. Beijing:Science Press,2012.]

[54] YANG B,QIN C,WANG J,et al. A 3500-year tree-ring record of annual precipitation on the northeastern Tibetan Plateau[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2014,111(8):2903 -2908.

[55] 封婷. 战争影响下的社会[D]. 兰州:西北师范大学,2011. [FENG Ting. War affects the society[D]. Lanzhou:Northwest Normal University,2011.]

[56] 关亚新. 明末清初战争对辽西生态环境的破坏及影响[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2013,15(3):131 - 136. [GUAN Yaxin. Destruction and influence on the ecological environment of the west to liao river induced by war in late Ming and early Qing Dynasty[J]. Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition),2013,15(3):131 -136.]

[57] 贾珺,梅雪芹. 从历史的视角看现代高科技战争的生态环境灾难[J]. 北京师范大学学报社会科学版,2002,4(1):119 -127. [JIA Jun,MEI Xueqing. A historical analysis of ecological environmental disaster caused by modern high-tech wars[J]. Journal of Beijing Normal University (Social Science Edition),2002,4(1):119 -127.]

[58] 李金玉. 论东周时期战争对生态环境的破坏[J]. 中州学刊,2011,(5):180 -183. [LI Jinyu. On the destruction of the ecological environment in the eastern Zhou Dynasty[J]. Academic Journal of Zhongzhou,2011,(5):180 -183.]

[59] 李文涛. 战争与环境:魏晋南北朝时期的个案研究[J]. 南都学坛:南阳师范学院人文社会科学学报,2016,36(5):23 -29. [LI Wentao. Case study of the relationship between war and environment during the Wei,Jin,and the Northern and Southern Dynasties[J]. Academic forum of Nandu,2016,36(5):23 -29.]

[60] 刘祖爱. 人类・战争・环境[J]. 国防科技,2002,(7):62 -65. [LIU Zuai. Human,war and environment[J]. National Defense Science and Technology,2002,(7):62 -65.]

[61] 刘祖爱. 关于战争对环境影响研究的三个问题[C]//武汉大学环境法研究所基地会议,武汉,2005. [LIU Zuai. Three issues on the study of the impact of war on the environment[C]//Wuhan University Institute of Environmental Law Base Meeting,Wuhan,2005.]

[62] 王涛. 论秦汉时期人类不合理开发是导致西北生态环境变迁的重要性因素[D]. 郑州:郑州大学,2003. [WANG Tao. On the irrational development of humanity in the Qin and Han Dynasties is the important factor of the ecological environment change in northwest China[D]. Zhengzhou:Zhengzhou University,2003.]

[63] 张全明. 两宋生态环境变迁史[M]. 北京:中华书局,2016:60 - 100. [ZHANG Quanming. History of ecological environment change in Song Dynasty[M]. Beijing:Zhonghua Book Company,2016:60 -100.]

[64] 高荣. 河西通史[M]. 天津:天津古籍出版社,2011:13 - 15. [GAO Rong. General history of Hexi[M]. Tianjin:Tianjin Ancient Books Publishing House,2011:13 -15.]

[65] 许容. 甘肃通志[M]. 台北:文海出版社,1966. [XU Rong. General history of Gansu[M]. Taipei:Wenhai Publishing House,1966.]

[66] STUIVER M,REIMER P J. Extended (super 14) C data base and revised CALIB 3.0 (super 14) C age calibration program[J]. Radiocarbon,1993,35(1):215 -230.

Response of desertification to intensified human activities over the latest 1 ka in Hexi region

MA Jun[1], MOU Xue-song[1], WANG Yong-da[1], LIU Wen-hao[3], FAN Yu-xin[1,2]

(1 *School of Earth Sciences & Key Laboratory of Mineral Resources in Western China of Gansu Province, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*;

2 *MOE Key of Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*;

3 *Lanzhou Library, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*)

Abstract: The mechanism of desertification has always been the hotspot of academic research. The Hexi region, which is located in the transitional zone from the Qinghai-Tibet Plateau to the arid area in Northwestern China, is a key region for construction of the Belt and Road Initiative. Hexi area is the bridge of material and cultural interaction between East and West China during historical period, meanwhile, Hexi is also one of the areas with the most serious desertification in China, the worsening desertification has seriously affected the development of local economy and culture and threatened the smooth implementation of the Belt and Road Initiative. So, grasping the causes and evolution mechanisms of desertification clearly in Hexi area will have great significance in formulating desertification control strategies and controlling desert expansion. The ecology and environment in Hexi area is very sensitive to the intensity of human activities and to climate change, a large number of studies have shown that desertification was controlled by climate change before 3 ka, and then human activities gradually became the dominant factor of desertification after 3 ka. But the way in which human activities affect the desertification process has not been reported. Based on coupling with histories of desertification, warfare, variation of the population and climatic background, this paper analyzed the mechanism of desertification over the past 1 ka. The following results were obtained: (1) During the latest 1 ka, desertification in the Hexi region happened in intervals of 0.91 ka, 0.74 ka, 0.68 ka, 0.44 ka, 0.32, 0.24 ka, 0.18 – 0.12 ka and < 0.1 ka. (2) Desertification sensitively responded to intensified human activities except that happened at around 0.32 ka as a consequence of low precipitation. (3) Desertification during the recent 200 years is a response to rapid growth of human population. Main innovation points of this paper include as follows: (1) There were 8 desertification processes occurred in the Hexi area during the latest 1 ka. (2) the wars occurred in the region was regarded as a strong human activity on desertification in the paper.

Key words: mechanism of desertification; Hexi region; the Silk-road Economic Belt